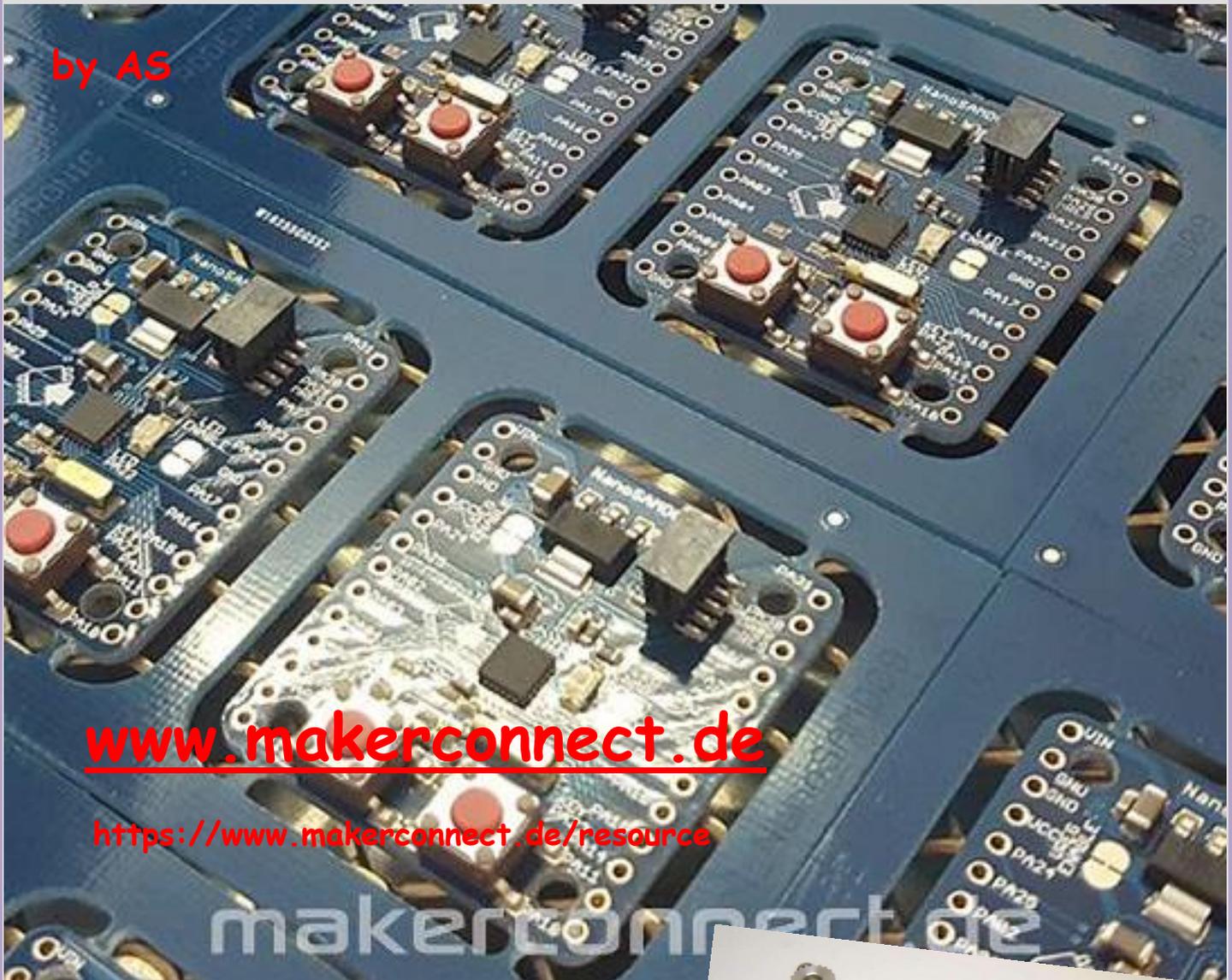


# MIKROKONTROLLER & I<sup>2</sup>C BUS

by AS



[www.makerconnect.de](http://www.makerconnect.de)

<https://www.makerconnect.de/resource>

makerconnect.de

## Schrittmotor 1 Grundlagen



## Copyright

Sofern nicht anders angegeben, stehen die Inhalte dieser Dokumentation unter einer „Creative Commons - Namensnennung-NichtKommerziell-Weitergabe unter gleichen Bedingungen 3.0 DE Lizenz“



## Sicherheitshinweise

Lesen Sie diese *Gebrauchsanleitung*, bevor Sie diesen Bausatz in Betrieb nehmen und bewahren Sie diese an einem für alle Benutzer jederzeit zugänglichen Platz auf. Bei Schäden, die durch Nichtbeachtung dieser Bedienungsanleitung verursacht werden, erlischt die Gewährleistung / Garantie. Für Folgeschäden übernehmen wir keine Haftung! Bei allen Geräten, die zu ihrem Betrieb eine elektrische Spannung benötigen, müssen die gültigen VDE-Vorschriften beachtet werden. Besonders relevant sind für diesen Bausatz die VDE-Richtlinien VDE 0100, VDE 0550/0551, VDE 0700, VDE 0711 und VDE 0860. Bitte beachten Sie auch nachfolgende Sicherheitshinweise:

- Nehmen Sie diesen Bausatz nur dann in Betrieb, wenn er zuvor berührungssicher in ein Gehäuse eingebaut wurde. Erst danach darf dieser an eine Spannungsversorgung angeschlossen werden.
- Lassen Sie Geräte, die mit einer Versorgungsspannung größer als 24 V- betrieben werden, nur durch eine fachkundige Person anschließen.
- In Schulen, Ausbildungseinrichtungen, Hobby- und Selbsthilfwerkstätten ist das Betreiben dieser Baugruppe durch geschultes Personal verantwortlich zu überwachen.
- In einer Umgebung in der brennbare Gase, Dämpfe oder Stäube vorhanden sind oder vorhanden sein können, darf diese Baugruppe nicht betrieben werden.
- Im Falle einer Reparatur dieser Baugruppe, dürfen nur Original-Ersatzteile verwendet werden! Die Verwendung abweichender Ersatzteile kann zu ernsthaften Sach- und Personenschäden führen. Eine Reparatur des Gerätes darf nur von fachkundigen Personen durchgeführt werden.
- Spannungsführende Teile an dieser Baugruppe dürfen nur dann berührt werden (gilt auch für Werkzeuge, Messinstrumente o.ä.), wenn sichergestellt ist, dass die Baugruppe von der Versorgungsspannung getrennt wurde und elektrische Ladungen, die in den in der Baugruppe befindlichen Bauteilen gespeichert sind, vorher entladen wurden.
- Sind Messungen bei geöffnetem Gehäuse unumgänglich, muss ein Trenntrafo zur Spannungsversorgung verwendet werden
- Spannungsführende Kabel oder Leitungen, mit denen die Baugruppe verbunden ist, müssen immer auf Isolationsfehler oder Bruchstellen kontrolliert werden. Bei einem Fehler muss das Gerät unverzüglich ausser Betrieb genommen werden, bis die defekte Leitung ausgewechselt worden ist.
- Es ist auf die genaue Einhaltung der genannten Kenndaten der Baugruppe und der in der Baugruppe verwendeten Bauteile zu achten. Gehen diese aus der beiliegenden Beschreibung nicht hervor, so ist eine fachkundige Person hinzuzuziehen

## Bestimmungsgemäße Verwendung

- Auf keinen Fall darf 230 V~ Netzspannung angeschlossen werden. Es besteht dann Lebensgefahr!
- Dieser Bausatz ist nur zum Einsatz unter Lern- und Laborbedingungen konzipiert worden. Er ist nicht geeignet, reale Steuerungsaufgaben jeglicher Art zu übernehmen. Ein anderer Einsatz als angegeben ist nicht zulässig!
- Der Bausatz ist nur für den Gebrauch in trockenen und sauberen Räumen bestimmt.
- Wird dieser Bausatz nicht bestimmungsgemäß eingesetzt kann er beschädigt werden, was mit Gefahren, wie z.B. Kurzschluss, Brand, elektrischer Schlag etc. verbunden ist. Der Bausatz darf nicht geändert bzw. umgebaut werden!
- Für alle Personen- und Sachschäden, die aus nicht bestimmungsgemäßer Verwendung entstehen, ist nicht der Hersteller, sondern der Betreiber verantwortlich. Bitte beachten Sie, dass Bedien- und /oder Anschlussfehler außerhalb unseres Einflussbereiches liegen. Verständlicherweise können wir für Schäden, die daraus entstehen, keinerlei Haftung übernehmen.
- Der Autor dieses Tutorials übernimmt keine Haftung für Schäden. Die Nutzung der Hard- und Software erfolgt auf eigenes Risiko.

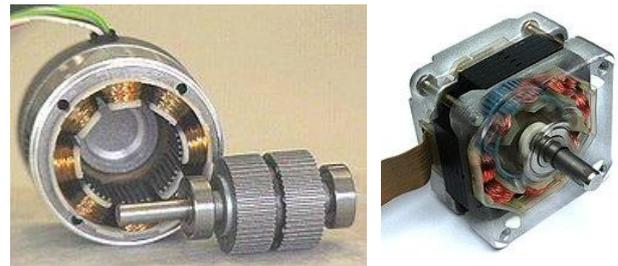
# Schrittmotor 1 - Grundlagen

1. Was ist ein Schrittmotor
2. Wie unterscheidet man Schrittmotoren
3. Prinzip der Schrittmotoren
4. Schrittmotoransteuerung
5. Ansteuerarten
6. Schrittmotoren in Bezug auf Roboter
7. Fehler, die bei der Motorwahl oft gemacht werden
8. Schaltung zum Ansteuern eines Schrittmotors mit L298 und L297
9. Wie identifiziert man die Leitungen wenn man kein Datenblatt zum Motor hat?
10. Schrittmotorphasen bildlich dargestellt
11. Motoren mit 5 Anschlüssen?
12. Die wichtigsten Daten bei einem Schrittmotor
  - 12.1. Unverzichtbare Daten
  - 12.2. Hilfreiche Daten
  - 12.3. Weniger oft notwendige Daten
13. Praxisbeispiel für Stromberechnung
14. Fragen zu den Schrittmotoren

## 1. Was ist ein Schrittmotor

Schrittmotoren arbeiten völlig anders als Gleichstrommotoren. Das ist schon daran zu erkennen, dass diese keine zwei, sondern meist 4, 6 oder 8 Anschlüsse (bipolare oder unipolare Motoren) besitzen. Demzufolge ist es also nicht damit getan, irgendwo Spannung anzulegen, um den Motor zum Drehen zu bewegen. Aber keine Sorge, sehr kompliziert ist es dennoch nicht.

Ein Schrittmotor (oft auch Stepper genannt) ist ein Synchronmotor, bei dem der Rotor (drehbares Motorteil mit der Welle) bei geschickter Wahl der angesteuerten Statorspulen (nichtdrehbarer Motorteil) gezielt um einen Winkel gedreht werden kann. Auf diese Weise kann man in mehreren Schritten jeden Drehwinkel, wenn er ein Vielfaches des minimalen Drehwinkels ist, anfahren.



Aufbau von Schrittmotoren

## 2. Wie unterscheidet man Schrittmotoren

Man unterscheidet den Schrittmotor nach seiner Bauform in Reluktanzmotor und Permanentmagnetmotor, wobei man beide Formen auch zu einem Hybridschrittmotor kombinieren kann. Beim Reluktanzschrittmotor besteht der Rotor aus einem gezahnten Weicheisenkern. Dieses Material gewährleistet nach dem Ausschalten des Statorstromes das Verschwinden jedes Rest-Magnetfeldes. Dadurch kann der magnetische Fluss bei eingeschaltetem Strom ungehindert durch den Weicheisenkern fließen. Die Drehbewegung des Rotors kommt zustande, weil so der Abstand zwischen dem nächstliegendem Zahn des Rotors und dem Stator verringert werden kann und der magnetische Widerstand verringert wird.

Beim Permanentmagnetschrittmotor besteht der Stator aus Weicheisen und der Rotor aus Dauermagneten, die abwechselnd einen Nord- und einen Südpol aufweisen. Mit dem Stator-Magnetfeld richtet man den dauermagnetischen Rotor so aus, dass eine Drehbewegung

entsteht.

Da der Reluktanzschrittmotor keine Permanentmagnete enthält, hat er daher im Gegensatz zum Permanentmagnetschrittmotor auch kein Rastmoment bei ausgeschaltetem Strom. Beim Permanentmagnetschrittmotor ist die Anzahl der Pole (und damit die Auflösung) begrenzt. Der Hybridschrittmotor vereint die Eigenschaften beider Bauformen, in dem auf den Permanentmagneten noch ein gezahnter Weicheisenkranz eingefügt wird. Nahezu alle heute erhältlichen Schrittmotoren sind Hybridmotoren. Als High-Torque Motoren (=hohes Drehmoment) werden häufig Typen bezeichnet, bei denen für den Rotor besonders starke Seltenerdenmagnete verwendet werden. So lässt sich eine besonders hohe Kraftdichte erzielen. Typische Anwendungsgebiete sind Drucker, vor allem Matrixdrucker, oder der Antrieb des Schreib-/Lesekopfes in einem CD-Laufwerk. Da Schrittmotoren (solange sie nicht überlastet werden) exakt dem außen angelegten Feld folgen, können sie ohne Sensoren zur Positionsrückmeldung (Encoder, Drehgeber oder ähnliches) betrieben werden (Synchronmotor-verhalten). Daher können sie im Gegensatz zu Servomotoren gesteuert betrieben werden. Servos müssen auf Position geregelt werden.

### 3. Prinzip der Schrittmotoren

Der bipolare Motor besitzt zwei Spulen, und da jede Spule nun mal zwei Enden hat, also 4 Anschlüsse. Der unipolare Motor ist ebenfalls so aufgebaut, jedoch wird hier noch jede Spule in der Mitte durch eine Anschlussleitung angezapft (siehe Bild)

Um den Motor nun in Bewegung zu bringen, muss an den Spulen eine Spannung angelegt werden. Legt man die Mittelanzapfung auf Masse, so hat man also noch 4 Anschlüsse. Legt man nun an zwei dieser Anschlüsse die Spannung an, bewegt sich der Motor -

allerdings nur einen winzigen kaum sichtbaren Schritt. Wie groß ein Schritt ist, hängt vom jeweiligen Motor ab. Bei den meisten Motoren beträgt der Schrittwinkel 1,8 Grad. Das bedeutet, dass 200 Schritte notwendig sind, um die Achse einmal rund zu drehen. Nachdem der Motor nun einen Schritt gemacht hat, muss die Spannung an einer anderen Kombination von Anschlüssen eingeschaltet werden. Es gibt somit 4 Kombinationen, wobei immer zwei Anschlüsse an die Spannung und zwei andere auf 0 V gelegt werden. Dies ist die sogenannte unipolare Ansteuerung. Wechselt man ständig diese verschiedenen Anschlussbelegungen, so würde sich der Motor mit jeder Änderung einen Schritt drehen.

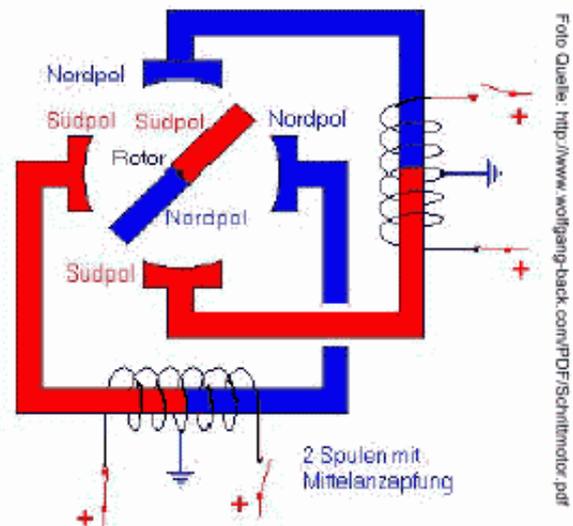
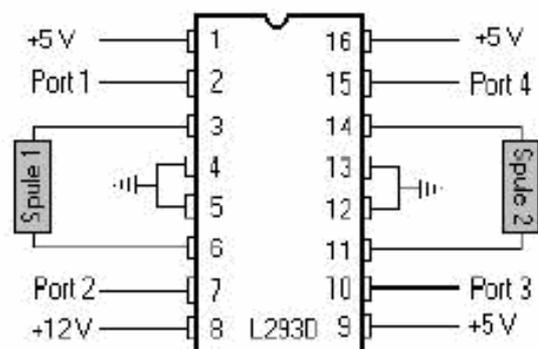


Foto Quelle: <http://www.wolfgang-back.com/PDF/Schrittmotor.pdf>

### 4. Schrittmotoransteuerung

Um dies zu erreichen, benötigt man entweder eine elektronische Schaltung oder man verbindet die einzelnen Spulenenden jeweils mit einem Port eines Mikrocontrollers. Vorsicht, natürlich nicht direkt verbinden. Die Leistung eines Ports reicht natürlich niemals aus, um einen Motor zu bewegen.

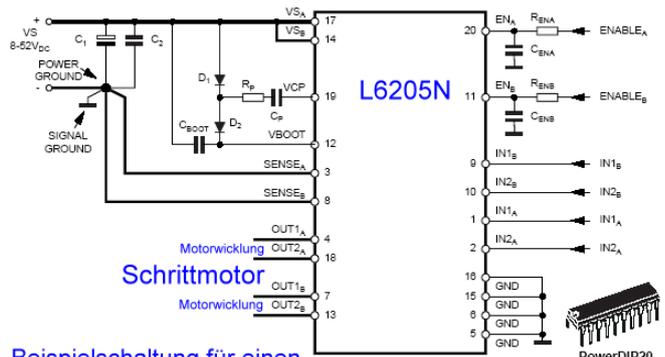


Ein Motortreiber (Verstärker) muss also schon dazwischen geschaltet werden. Zum Beispiel der Schaltkreis L293D, siehe Zeichnung oder aber der stärkere L6205.

Nun müsste der Mikrocontroller also nur noch eine 4-stellige Bitfolge ausgeben, um den Motor an den 4 Anschlüssen ständig in einer bestimmten Kombination mit Spannung zu versorgen. Bei jeder Portausgabe würde sich somit der Schrittmotor einen Schritt bewegen. Das Ganze könnte natürlich in der Software in einer Schleife gemacht werden. Der Schleifenindex würde somit die Zahl der Schritte angeben. Der große Vorteil bei Schrittmotoren ist, dass man durch diese Methode ganz genau festlegen kann, wie weit sich ein Schrittmotor dreht. Man kann somit auch genau ausrechnen, wie viel Schritte pro Radumdrehung notwendig sind. Nutzt man keine Untersetzung so bräuchte man bei den meisten Motoren wie schon erwähnt 200 Schritte pro Radumdrehung. Berechnet man dann den Umfang des Rades, so kann man genau ausrechnen, wie viele Schritte pro cm Fahrtstrecke notwendig sind. So könnte man schnell eine Routine schreiben, welche als Parameter die Fahrtstrecke entgegennimmt und dann daraus die Schritte errechnet und in einer Schleife an die Ports weitergibt.

Genauer lässt sich ein Roboter eigentlich kaum steuern. Ein Schrittmotor bewegt sich nur bei einem Schritt, ansonsten sorgt das Haltemoment dafür, dass er sich nicht weiter bewegt. Nachteil ist nur, dass der Motor auch im Stand mit Strom versorgt wird, damit er sich nicht bei unebenen Böden oder an Steigungen bewegt. Bei Robotern, die sich nur in der Wohnung bewegen, kann man oft auch in der Praxis die Spannung abschalten, ohne dass sich der Motor bewegt, insbesondere wenn man vielleicht durch einen Zahnriemen noch eine Untersetzung von 4:1 oder 6:1 eingebaut hat.

In der Tat werden viele Roboter schon auf diese Weise gesteuert. Optimal ist diese Methode allerdings nicht, insbesondere bei schweren Robotern reicht die Kraft bei dieser Art Steuerung nicht aus, dies wird leider in vielen Artikeln zu diesem Thema verschwiegen. Wenn ein Motor zu schwach ist, können auch Schritte verloren gehen, wenn die Kraft nicht ausreicht um z.B. einen höheren Teppichrand zu überfahren. Dadurch würde die genaue Positionierung wieder gestört. Gleich dazu mehr. Erwähnen möchte ich erst noch kurz die bipolaren Motoren mit 4 Anschlüssen (also ohne Mittelanzapfung). Diese sind im Prinzip nicht anders aufgebaut als die unipolaren. Da sie jedoch keine Mittelanzapfung besitzen, wird das unterschiedliche Magnetfeld dadurch erreicht, dass man die Spannung an den Spulenenden immer umpolt. Lange Zeit galt das für Bastler als etwas zu kompliziert, daher wurde die unipolare Ansteuerung oft vorgezogen. Durch neue integrierte Schaltkreise wie den L298 ist das aber auch kein Problem mehr. Erwähnen möchte ich noch die Motoren mit 8 Anschlüssen. Im Prinzip sind das Motoren, in denen die beiden Spulen in der Mitte aufgetrennt und herausgeführt wurden. Diese Motoren erlauben wahlweise eine bipolare oder unipolare Ansteuerung. Man kann die Leistung und Anschlusswerte auch verändern, indem man hier die 4 Spulen (sind ja nun quasi 4 durch die Auftrennung) entweder parallel oder in Serie schaltet.

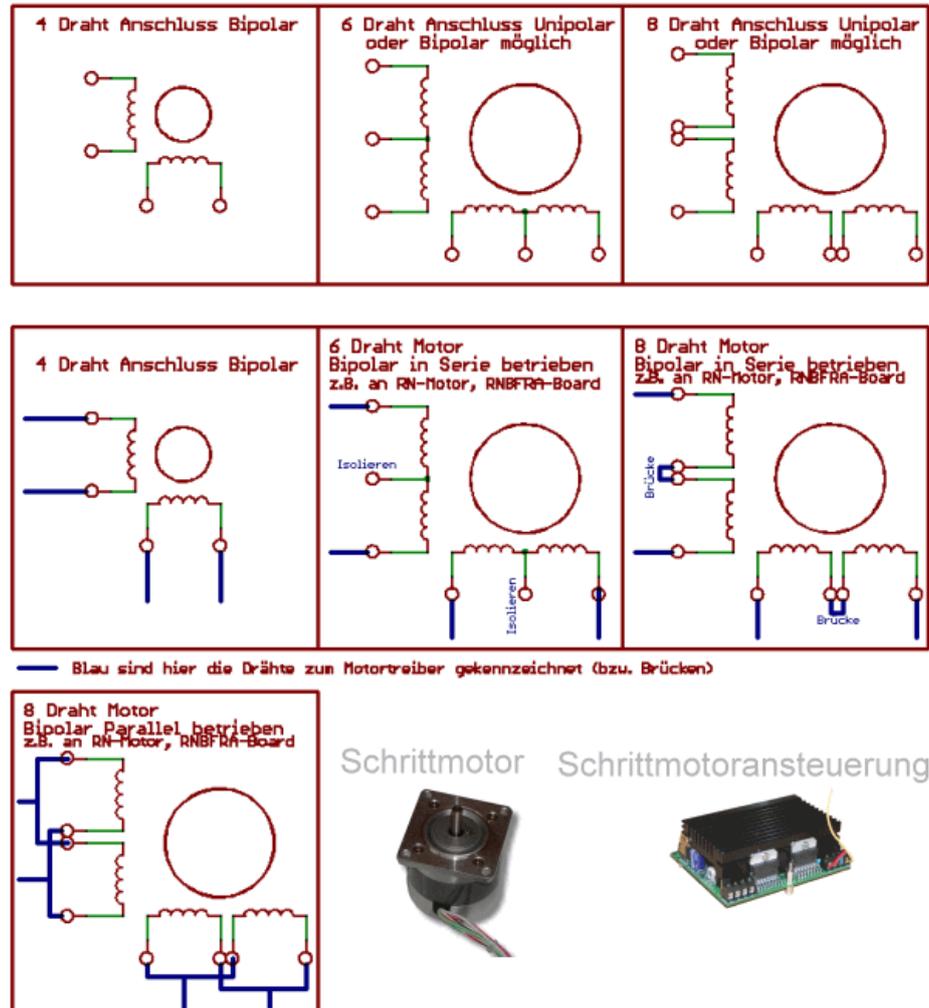


Beispielschaltung für einen Schrittmotor oder zwei DC-Motoren max. 2,8A robotikhardware.de



Hier alle denkbaren Ansteuerungsmöglichkeiten bei den unterschiedlichen Motoren (die Farbangaben können bei den Motoren sehr unterschiedlich sein).

Übliche Spulenanschlüsse bei Schrittmotoren (Zeichnung [www.rn-wissen.de](http://www.rn-wissen.de))



## 5. Ansteuerarten

Die einfachste Art, einen Schrittmotor zu betreiben, ist der sogenannte WaveDrive-Betrieb, bei dem immer nur eine Spule stromerfüllt ist. Dies ist am Einfachsten zu realisieren, birgt aber ein geringes Drehmoment. Die Positionen, die der Rotor einnehmen kann, liegen bei 0, 90, 180 und 270 Grad. Werden dagegen immer zwei benachbarte Spulen mit Strom versorgt, gelangt man zum sog. Vollschrittbetrieb und erreicht ein größeres Drehmoment. Die Positionen liegen hier genau zwischen den Positionen beim WaveDrive-Betrieb. Werden beide Betriebsarten kombiniert, also immer abwechselnd eine oder beide Spulen versorgt, können insgesamt schon 8 Positionen angefahren werden. Dies nennt man Halbschrittbetrieb. Führt man diese Idee weiter, so gelangt man zu einem idealen Drehfeld: Beide Spulenpaare werden mit einer Sin/Cos-Welle angesteuert, sodass sich ein nahezu idealer Rundlauf ergibt. Die Vorteile des Mehrschrittbetriebs liegen auf der Hand: Der Kraftverlauf wird bei kleineren Schritten gleichmäßiger, die Gefahr des Schrittverlustes sinkt und der Motor wird deutlich leiser.

## 6. Schrittmotoren in Bezug auf Roboter

Schrittmotoren eignen sich vorzüglich für Roboter. Insbesondere für Roboter, die sich nur im Haus bewegen und weniger als 20 kg wiegen, halte ich persönlich Schrittmotoren für die 1. Wahl. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass die Steuerung besonders leicht und präzise per Software möglich ist. Oft hört man in Foren, dass Schrittmotoren im Vergleich zu Getriebemotoren recht schwach seien. Dazu ist zu sagen, dass dieser Vergleich etwas hinkt.

Ein Schrittmotor könnte ja auch mit einem Getriebe versehen werden. Also wenn man Getriebemotoren schon mit Schrittmotoren vergleicht, dann müssten beide über ein Getriebe verfügen. Natürlich gibt es auch Schrittmotoren mit Getriebe. Allerdings braucht man bei Schrittmotoren oft gar kein Getriebe, denn die Kraft ohne Getriebe ist nämlich in der Regel wesentlich höher als bei den Gleichstrommotoren. Auch niedrige Drehzahlen sind bei Schrittmotoren kein Problem, sogar von Vorteil. Je niedriger die Drehzahl, desto höher ist bei Schrittmotoren das Drehmoment. Dass es trotzdem immer wieder bei Einsteigern Probleme mit der Wahl des richtigen Schrittmotors gibt, liegt vorwiegend am mangelnden Wissen über das Stromverhalten dieser Motoren. Dazu später ein paar Tipps, die zeigen, dass man auch schwere Roboter durchaus mit recht kleinen Motoren bewegen kann. Zuvor aber ein paar Grundlagen für Einsteiger. Anwender, die sich schon etwas mit Schrittmotoren auskennen, können den nächsten Absatz überspringen

## 7. Fehler, die bei der Motorwahl oft gemacht werden

Bei der Auswahl eines Schrittmotors sollte man sorgfältig vorgehen. Kleine Motoren, wie sie in Druckern stecken, reichen in der Regel wirklich nur für Roboter der Fliegengewichtsklasse aus. Wenn ein Roboter ein paar kg wiegt, dann braucht man schon etwas mehr Power. Hier sollte man immer auf das Haltemoment achten, dies entspricht fast dem Drehmoment. Mit einem Motor, der 40 Ncm Haltemoment besitzt kann man schon einiges anfangen. Bei einigen Versuchen hab ich durchaus Roboter mit 10 kg ohne Schrittverlust damit bewegt. Allerdings hab ich noch eine Untersetzung 6:1 über Riemen eingebaut. Wenn man sicher gehen will, dann nimmt man immer einen etwas stärkeren Motor. Ein 100 Ncm Motor kommt oft noch mit 6 oder 7 VA (Watt) aus. Es ist ein Irrtum, dass sich die Größe des Motors linear mit der Kraft ändert. Es gibt zahlreiche Motoren, welche die gleiche Größe aufweisen und dennoch ganz unterschiedlich stark sind. Ein Standardmaß ist 56 x 56 mm. In der Regel findet man in dieser Größe schon starke Motoren, die keine Wünsche mehr offen lassen.

Ein Fehler, der bei der Auswahl des Motors oft gemacht wird, ist die Betriebsspannung. Auch ich habe am Anfang gedacht, dass man bei einer vorhandenen Spannung von 12 V am besten einen Motor Typ mit 12 V kaufen muss. Dies ist zwar nicht ganz falsch, aber wird nie zu grosser Leistung führen. Wichtig für den Motor ist, dass der angegebene Strom fließt. Ein Motor, bei dem beispielsweise 12 V und 0,5 A angegeben sind, wird in der Praxis nur bei wirklich sehr niedrigen Drehzahlen seine Kraft, also sein Drehmoment, erreichen. Je höher die Drehzahl, desto schwächer wird der Motor. Das kann so weit gehen, dass schon das geringste Hindernis den Motor Schritte verlieren lässt oder dass der Motor bei höheren Drehzahlen gar nicht mehr anläuft.

### Woran liegt dies? Ganz einfach:

Ein Schrittmotor hat auch eine Induktivität. Da der Motor ständig umgepolt wird, wird durch diese Induktivität eine Art Gegenstrom erzeugt. Dies hat zur Folge, dass der eigentliche Strom bei höheren Drehzahlen nicht mehr erreicht wird. Je schneller sich der Motor dreht, desto weniger Strom fließt. Verständlich, dass dadurch die Leistung reduziert wird.

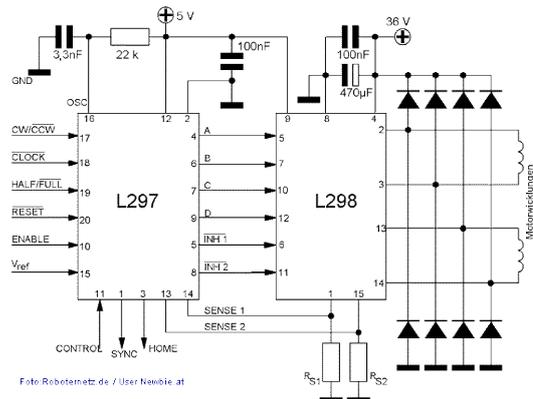
### Wie kann man diesem Verhalten entgegenwirken?

Ganz einfach mit einer wesentlich höheren Spannung als auf dem Motor angegeben. Doch Vorsicht, so einfach geht es nicht. Wenn der Motor steht oder sich langsam dreht, dann würde der Motor ja sofort durchbrennen. Die Lösung ist eine stromgeregeltete Steuerung! Die Regelung wird mit einer hohen Spannung (oft bis zu 30 oder 40 Volt) versorgt. Aber die immer mit der optimalen Spannung versorgt.

In der Tat werden heute alle Schrittmotoren, die etwas Leistung bringen müssen, z.B. bei Drehmaschinen, auf diese Art angesteuert. Das Ganze klingt nun recht kompliziert und aufwendig für einen Roboter-Hobbybastler. Ist es aber nicht, denn es gibt heute verschiedene integrierte Schaltkreise, die einen das Ganze recht einfach machen.

## 8. Schaltung zum Ansteuern eines Schrittmotors mit L298 und L297

Die hier abgebildete Schaltung ist quasi der Standard für Schrittmotoren. Auch bei Drehmaschinen wird diese Schaltung oft eingesetzt. Die Schaltung lässt sich recht einfach auf einer Experimentierplatine aufbauen.



Hier die Bedeutung:

Bezeichnung	Pin #	Erklärung
<b>CW/CCW</b>	17	Gibt die Richtung an, in die der Motor bewegt werden soll (CW = ClockWise = im Uhrzeigersinn, CCW = CounterClockWise = gegen den Uhrzeigersinn)
<b>Clock</b>	18	Durch einen kurzen Impuls auf diese Leitung wird der Motor einen Schritt bewegt. In einer Schleife braucht mal also nur diese Leitung kurz ein- und auszuschalten. Der Schritt wird bei steigender Flanke ausgelöst (beim Wechsel des anliegenden Zustandes von "low" zu "high")
<b>Half/Full</b>	19	Gewöhnlich legt man den Anschluss auf Masse. Legt man ihn auf 5 V, dann werden immer halbe Schritte durchgeführt, also doppelt so viele Schritte pro Umdrehung
<b>Enable</b>	10	Wenn man diesen Anschluss auf Masse legt, wird die Motorspannung ausgeschaltet
<b>Vref</b>	15	Hier muss eine Spannung zwischen 0 und 3 Volt angelegt werden. Die Spannung legt den maximalen Motorstrom fest. $V_{ref}$ berechnet sich nach folgender Formel: $V_{ref} = I_{Motorstrom} \cdot R_s$ Angenommen, Sie haben einen Motor, der 0,5 A Strom verträgt und einen 1 Ohm Widerstand für $R_s$ gewählt, sieht die Rechnung so aus: $V_{ref} = 0,5A \cdot 1\Omega = 0,5V$ Man muss also an $V_{ref}$ eine Spannung von 0,5 V anlegen. Am Einfachsten geht das, indem man zwischen 5 V und Masse ein 10-k-Poti und den Schleifer an $V_{ref}$ legt. Damit man die 3 Volt nicht überschreitet kann man zwischen 5 V und Poti noch einen 6 kOhm Widerstand legen.
<b>RESET</b>	20	Bringt Schrittmotor in Grundstellung (dieser Anschluss muss auf +5 V gelegt werden, damit die Schaltung funktioniert)
<b>Control</b>	11	Mit diesem Anschluss kann man die Art des <b>Chopper Betriebs</b> ändern. Ist der Control Eingang auf high, dann klingt der Motorstrom langsam ab (Phasen Chopping), zum schnellen Abklingen setzt man ihn auf low (Inhibit Chopping).
<b>Sync, Home</b>	1,3	Diese Anschlüsse kann man meist vernachlässigen und unbelegt lassen

Wie du siehst, braucht man also nur 3 Port-Pins, um einen Schrittmotor in beliebige Richtungen und in beliebiger Geschwindigkeit bewegen zu können. Kommt noch ein Motor hinzu, dann könnte man die Enable-Leitung beider verbinden, sodass dann zwei Motoren mit 5 Ports-Pins optimal gesteuert werden können.

Wichtig ist nur, dass man diese Schaltung mit einer möglichst hohen Spannung versorgt und einen Schrittmotor mit möglichst niedriger Spannung auswählt. Man sollte sich nicht davor abschrecken lassen, dass Schrittmotoren mit niedriger Spannung höhere Ströme z.B. 1 bis 2 A benötigen. Die Leistung berechnet sich ja bekanntlich mit der Formel  $P=U \cdot I$ . Somit brauchen auch diese Motoren nicht mehr Energie als Motoren mit höherer Spannung und niedrigem Strombedarf. Hat man bei einem Roboter nur 12V zur Verfügung, so ist es empfehlenswert z.B. einen 3- oder 4-Volt-Motor zu kaufen. Der Widerstand sollte jedenfalls deutlich unter 10 Ohm liegen. In diesem Fall könnte man dann die obige Schaltung auch mit 12V betreiben. Allerdings bei höheren Drehzahlen würde die Spannung wegen der Induktivität meist immer noch nicht ausreichen, um die volle Leistung des Motors zu nutzen. Daher wäre zu überlegen, ob man nicht ein Netzteil mit 24V verwendet.

## Fazit:

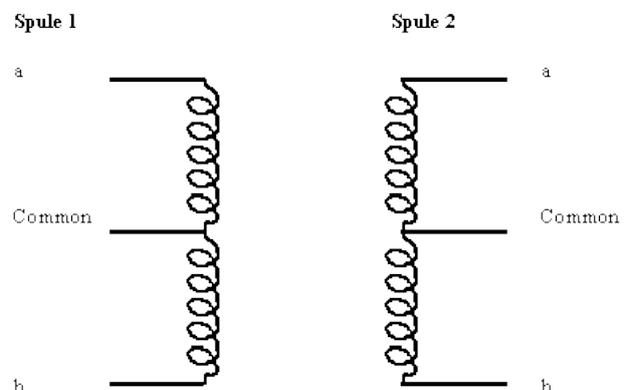
Roboter, die sehr genau gesteuert werden müssen und deutlich weniger als 10 kg wiegen, kann man sehr gut mit Schrittmotoren steuern. Bei Robotern, die schwerer sind, sich sehr schnell bewegen müssen oder deren Steuergenauigkeit nicht so wichtig ist, sind Getriebemotoren oft sinnvoller. Als Alternative eine Ansteuerung für 2 Schrittmotoren per Befehl über I<sup>2</sup>C Bus oder RS232 speziell für Roboterbastler (ebenfalls mit Stromregelung und L298).

## 9. Wie identifiziert man die Leitungen wenn man kein Datenblatt zum Motor hat?

Ein Schrittmotor ist aus zwei Spulen aufgebaut:

Mit einem Ohmmeter kann man die Anschlüsse einfach identifizieren:

Von **Spule 1 - a** nach **Spule 1 - Common** ist der Widerstand halb so groß wie der Widerstand von **Spule 1 - a** nach **Spule 1 - b**. Der Widerstand nach den Anschlüssen von **Spule 2** sollte unendlich sein.

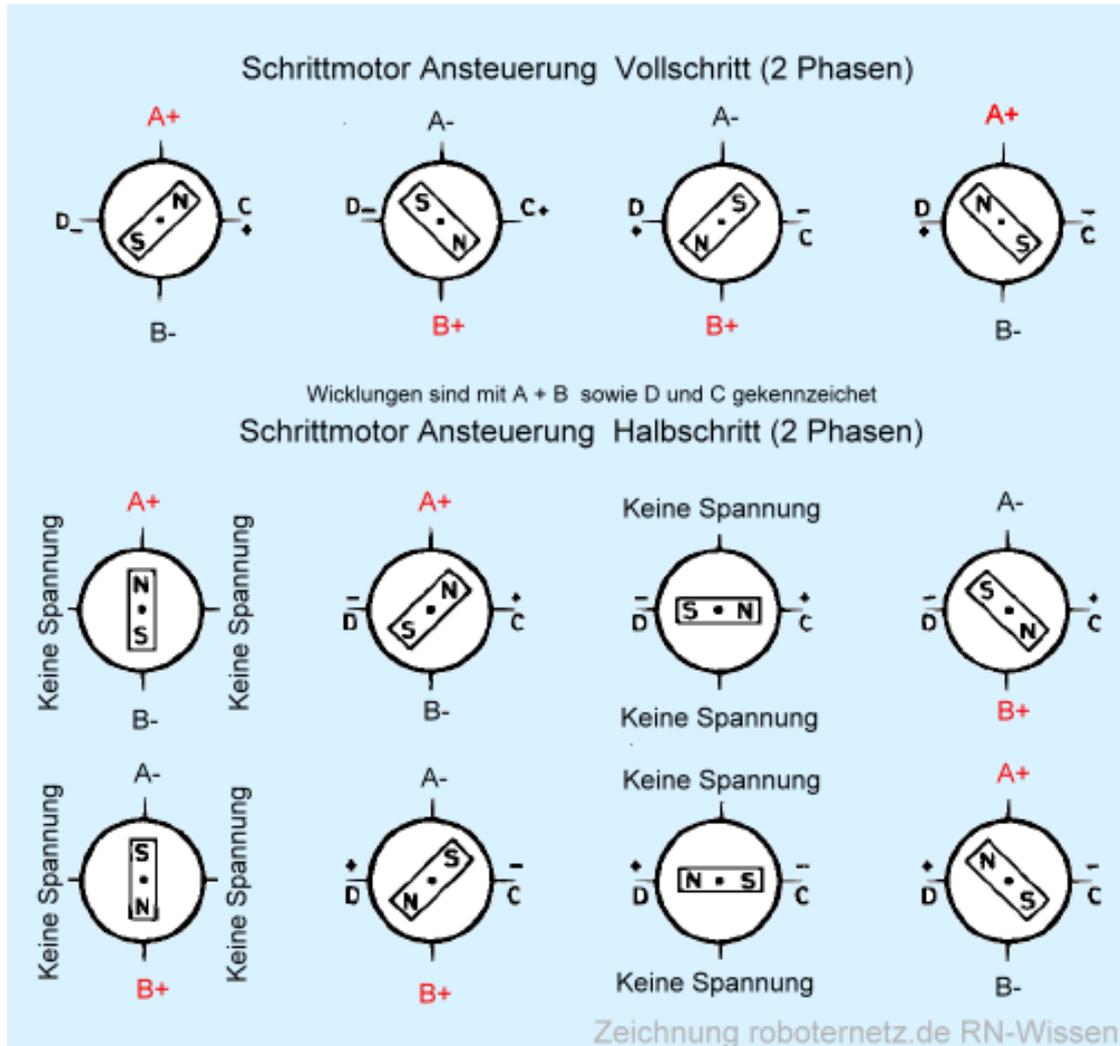


Dass die Anschlüsse a und b voneinander nicht zu unterscheiden sind, ist unwichtig. Falls Sie sie vertauschen, dreht sich der Motor andersherum.

Wichtig ist allenfalls, dass sie bei mehreren Motoren gleichen Typs die Anschlüsse gleich legen, um voraussagen zu können, in welche Richtung der Motor sich drehen wird.

Um den Motor bipolar anzusteuern, werden übrigens die Common-Anschlüsse nicht benötigt.

## 10. Schrittmotorphasen bildlich dargestellt

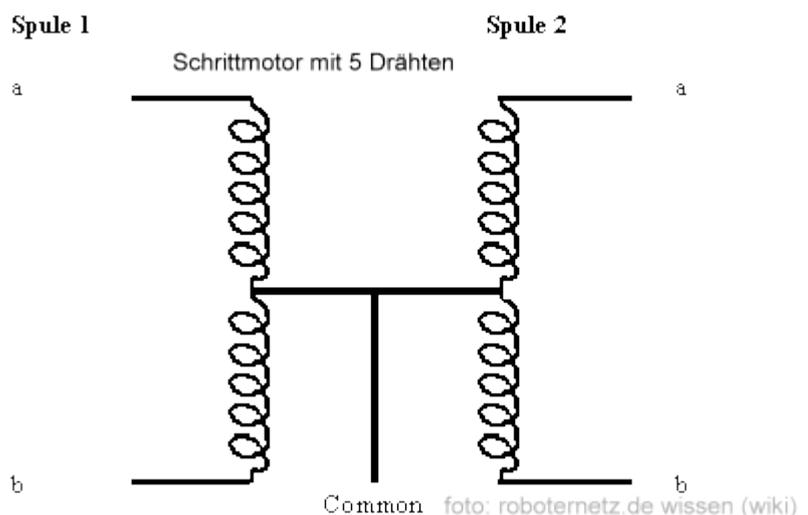


## 11. Motoren mit 5 Anschlüssen?

Es gibt auch Schrittmotoren mit 5 Drähten. In diesem Fall sind die mittleren Spulenanzapfungen miteinander verbunden und nur als einzige Leitung herausgeführt (also beide Common-Anschlüsse /siehe Skizze).

In dem Fall kann man den Motor nicht bipolar ansteuern, sondern muss ihn unipolar ansteuern. Mit L297/L298 wird ein Schrittmotor immer bipolar angesteuert, also kann dafür kein Motor mit 5 Drähten verwendet werden. Da

heutzutage Schrittmotoren bevorzugt bipolar angesteuert werden um maximales Drehmoment (Kraft) zu erreichen, sollte man daher beim Kauf möglichst Motoren mit 4, 6 oder 8 Drähten kaufen.



## Merke:

Motoren mit 4 Drähten kann man immer nur bipolar ansteuern. Motoren mit 6 oder 8 Drähten kann man sowohl bipolar als auch unipolar ansteuern. Gewöhnlich werden Motoren heute bevorzugt bipolar angesteuert, weil diese Ansteuerung ein größeres Drehmoment erzeugt. Bei der bipolaren Ansteuerung in Verbindung mit Stromregelung (wie bei L297/L298) kann die Nennspannung des Motors weit unter der Betriebsspannung liegen. Bei einer Ansteuerung ohne Stromregelung muss die Nennspannung des Motors in etwa der Betriebsspannung entsprechen (egal ob unipolar oder bipolar Ansteuerung). In diesem Fall ist jedoch das Drehmoment (Kraft) erheblich (deutlich spürbar) geringer.

## 12. Die wichtigsten Daten bei einem Schrittmotor

Zum besseren Verständnis habe ich die Daten in die Klassen *unverzichtbar*, *hilfreich* und *weniger notwendig* unterteilt. Diese Unterteilung habe ich vorwiegend im Blick auf Hobby-Anwender und Robotik-Bastler vorgenommen. Es versteht sich von selbst, dass je nach Vorhaben oder bei industrieller Anwendung eines Motors alle Daten wichtig sein könnten.

### 12.1. Unverzichtbare Daten

#### Nennstrom

Maximal zulässiger Strom pro Wicklung (Phase). Bei Motoren mit mehreren Wicklungen (also Motoren mit 6 oder 8 Anschlüssen) bezieht sich die Stromangabe auf nur eine Wicklung (unipolare Ansteuerung). Siehe dazu auch das Rechenbeispiel im nächsten Abschnitt.

So sehen die Daten auf einem Motor aus, Hier wird Nennstrom, Nennspannung und Schrittwinkel angegeben



foto:roboternetz.de RN-Wissen

#### Haltemoment

Bis zu diesem Moment (**Drehmoment**), also dieser Kraft) kann ein Schrittmotor belastet werden, bis sich die Achse um einen oder mehrere Schritte durch die Belastung verdreht. Diese Angabe gilt für einen stehenden Schrittmotor, der unter voller Betriebsspannung steht. Die Angabe gibt somit quasi an wie viel Kraft der Motor besitzt, eine sehr wichtige Angabe.

#### Schrittwinkel

Der Schrittwinkel gibt an, um wie viel Grad sich die Achse bei einem Vollschriff bewegt. Dadurch wird also gleichzeitig angegeben, wie viele Schritte ein Motor für eine volle Drehung benötigt. Man teilt einfach 360 Grad durch den Schrittwinkel und erhält die Schrittzahl. Bei guten Industriemotoren beträgt der Schrittwinkel oft 1,8 Grad, das ergibt also 200 Vollschriffe pro Umdrehung. Nutzt man das Halbschrittverfahren zur Ansteuerung, also 400 Schritte. Je mehr Schritte ein Motor besitzt desto genauer kann er natürlich bestimmte Positionen anfahren, zugleich läuft er ruhiger und leiser. Nachteil von hohen Schrittzahlen ist allerdings, dass oft nicht so hohe Drehzahlen erreicht werden können wie bei großen Schrittwinkeln.

#### Nennspannung

Die Betriebsspannung, die notwendig ist, um den Nennstrom zu erreichen. Die Nennspannung gilt in der Regel für den stehenden Schrittmotor. Bei drehenden Motoren reduziert sich der Strom durch die Induktivität des Motors, daher könnte dann die Nennspannung mit steigender Drehzahl höher werden. Genau das machen auch moderne Schrittmotoransteuerungen.

Darüber haben wir aber oben im Artikel schon ausgiebig gelesen. Steuert man einen Schrittmotor mit konstanter Spannung, so sollte man die Nennspannung verwenden, damit der Motor nicht überhitzt.

## Anschlussbelegung

Schrittmotoren haben 4, 5, 6 oder 8 Anschlussdrähte. Daher gehört zu jedem Schrittmotor ein Plan, der Auskunft über interne Verdrahtung der Spulen gibt. Notfalls kann man dieses auch mit Hilfe eines Ohmmeters ermitteln, auch dies wurde oben schon geschildert.

## 12.2. Hilfreiche Daten

### Start-Stop Frequenz ( $f_s$ )

Die maximale Frequenz (Geschwindigkeit der Schrittfolge), bei der ein nicht belasteter Schrittmotor anläuft ohne Schritte zu verlieren. Leider findet man auch diese Angabe wohl nur bei etwas teureren Markenmotoren.

### Betriebsmoment

Ähnlich wie das Haltemoment, jedoch wird hier das Moment für den drehenden Schrittmotor angegeben. Da bei Schrittmotoren das Drehmoment mit steigender Drehzahl abnimmt, reicht hier also kein einzelner Wert. Daher wird diese Angabe in Form einer Kennlinie, oft mit verschiedenen Betriebsspannungen, dargestellt. Sie ist sehr hilfreich, um den richtigen Motor für ein Vorhaben zu finden. Man sollte insbesondere darauf achten, dass das Drehmoment bei der maximalen geplanten Drehzahl auch wirklich noch für die Aufgabe ausreichend ist. Leider wird das Betriebsmoment (also diese Kennlinie) bei vielen Motoren (insbesondere bei Angeboten, kleineren Motoren usw.) nicht angegeben. Da der Kennlinienverlauf der Schrittmotoren jedoch eine gewisse Grundähnlichkeit aufweist, kann man in der Praxis deshalb oft auch mit der Angabe des Haltemoments auskommen.

## 12.3. Weniger oft notwendige Daten

### Widerstand

Manchmal wird der ohmsche Widerstand der Spule angegeben, allerdings nicht immer. Wenn die Nennspannung und der Nennstrom angegeben sind, so kann man sich den Widerstand nach dem ohmschen Gesetz selbst berechnen ( $R=U/I$ ). Sind nur die Nennspannung und der Widerstand angegeben, was auch vorkommt, so muss man sich dagegen den Nennstrom selbst ausrechnen ( $I=U/R$ ). Die Leistungsaufnahme der Wicklung kann man natürlich ebenfalls durch diese Angaben bestimmen ( $P=I^2 \cdot R$ )

### Rastmoment

Das Rastmoment kennt man bei Permanentmagnet- und Hybrid-Schrittmotoren. Es ist beim Drehen des Motors (ohne Spannung) spürbar. Wenn man die Wicklungen kurzschließt, wird dieses erheblich stärker. Dieser Sachverhalt kann auch für eine Bremse ausgenutzt werden.

### Rotorträgheit

Das Massenträgheitsmoment des Rotors. Je größer und schwerer ein Motor bzw. eine Achse wird, desto größer wird die Masse des Rotors, der zusammen mit der Nutzlast beschleunigt werden muss. Je niedriger dieser Wert ist, desto schneller und dynamischer verhält sich der Motor bei Beschleunigungen. Da die Masse des Rotors und der Last ein schwingungsfähiges System bilden, sollte das auf die Motorwelle reduzierte Trägheitsmoment der Last in derselben Größenordnung liegen wie die Rotorträgheit.

## 13. Praxisbeispiel für Stromberechnung

Soll ein Schrittmotor mit 8 Anschlüssen (4 Wicklungen) bipolar angesteuert werden, so hat man die Wahl jeweils zwei Spulen parallel oder in Reihe zu schalten. Die Stromangaben auf dem Motor beziehen sich in der Regel auf eine Phase, also eine Wicklung. Angenommen, wir haben einen Motor mit folgender Beschriftung:



foto:roboternetz.de RN-Wissen

Auf einem Foto könnte das so aussehen:

Nennspannung: **5,1 V**

Phasenstrom: **1,0 A**

Anschluß: **8 Drähte** = wahlweise unipolar oder bipolar

Schrittwinkel **1,8 Grad** / 200 Schritte pro Umdrehung

Haltekraft: ca. **50 Ncm**

Wellendurchmesser: **6 mm**

Möchte man die Spulen in Reihe schalten, so muss der Strom in etwa um den Faktor **1,41** (Wurzel aus 2) verringert werden, damit der Motor nicht zu heiss wird. In unserem Beispiel müsste also **1 A / 1,41 = 0,792 A** fließen. Bei einer Chopper-Regelung (Stromregelung) müsste man somit **0,79 A** einstellen. Da sich der ohmsche Widerstand durch die Reihenschaltung verdoppelt, benötigt man auch eine höhere Spannung. Anhand des ohmschen Widerstandes, der sich messen oder berechnen lässt, kann man in etwa die notwendige Mindestspannung berechnen. Wenn bei **5,1 V** ein Strom von **1 A** fließt, so müsste der ohmsche Widerstand  **$R=U/I = 5,1 \text{ V} / 1 = 5,1 \text{ Ohm}$**  betragen. Der Gesamtwiderstand der Reihenschaltung wäre demnach **10,2 Ohm**. Wenn wir den Strom von **0,79 A** erreichen wollen, so müsste  **$U=I \cdot R = 0,79 \cdot 10,2 = 8,06 \text{ V}$**  vorhanden sein. Das wäre aber nur die Mindestspannung, also die Spannung, die man ohne Stromregelung auch konstant anlegen könnte. Nutzt man jedoch eine Stromregelung, so müssen natürlich Regelreserven vorhanden sein. Zudem müssten die Schaltungsverluste der Chopperregelung berücksichtigt werden. Daher verwendet man eine deutlich höhere Spannung. **12V bis 24V** wären in dem Beispiel durchaus angebracht. Je höher desto besser, denn so kann bei hohen Drehzahlen der Strom schneller dem induktiven Widerstand entgegenwirken und das Drehmoment fällt nicht mehr so stark bei steigenden Drehzahlen ab. Das Drehmoment erhöht sich im Übrigen bei der Reihenschaltung ebenfalls in etwa um den Faktor **1,41** (Wurzel aus 2).

Bei der Parallelschaltung von zwei Spulen ist es genau umgekehrt. Hier darf der Strom in etwa um den Faktor **1,41** erhöht werden. Also  **$1 \text{ A} \cdot 1,41 = 1,41 \text{ A}$**  sollten hier fließen. Da sich der ohmsche Widerstand durch die Parallelschaltung halbiert, also in unserem Fall auf **2,55 Ohm**, ist natürlich auch eine niedrigere Spannung notwendig. Die Berechnung wäre also  **$U=I \cdot R = 1,41 \text{ A} \cdot 2,55 = 3,6 \text{ V}$** . Auch das ist wieder die Mindestspannung, die auch als Konstant Spannung angelegt werden darf. Auch hier muss bei der Chopper-Regelung (Stromregelung) eine höhere Spannung angelegt werden. Mit Werten zwischen ca. **8 und 16V** würde man jetzt aber schon sehr gute Ergebnisse erzielen. Auch in diesem Beispiel würde sich das Drehmoment in etwa um den Faktor **1,41** erhöhen.

Problematisch kann bei der Parallelschaltung mancher Motoren der niedrige ohmsche Widerstand werden. Nicht jede Motorregelung/Motortreiber macht das mit. Aus diesem Grund werden sicherlich Reihenschaltungen in der Praxis bevorzugt eingesetzt.

## 14. Fragen zum Schrittmotor

### Welcher Schrittmotor ist der richtige für meine Anwendung?

Dazu muß man zunächst einmal wissen, welches Drehmoment benötigt wird. Die zweite wichtige Größe ist die maximal benötigte Drehzahl. Mit diesen beiden Werten kann man anhand der Motorkennlinien die Zahl der infrage kommenden Modelle schon deutlich eingrenzen. Aus den übrig gebliebenen Motoren wählt man nun einen aus, der die größte Drehzahl verspricht, ohne eine extrem aufwändige Ansteuerung zu erfordern. In der Regel steigt nämlich mit der maximalen Frequenz auch der benötigte Strom bei gleichzeitig kleiner werdendem Wicklungswiderstand, was die entsprechende Endstufe deutlich aufwendiger macht.

### Hat ein Motor mit höherer Spannung mehr Kraft?

Nein. Die 'Power' eines Motors kann man am Drehmoment erkennen. Allerdings ist das Drehmoment bei Motoren (ganz allgemein) drehzahlabhängig. Bei Schrittmotoren spielt auch noch die Ansteuertechnik und ggf. die Versorgungsspannung der Endstufe eine Rolle. Aus den Kennlinien, die im Motordatenblatt angegeben sind, kann man aber ersehen, wie sich der Motor unter günstigen Bedingungen verhält. Zusätzlich wird das Haltemoment angegeben. Das gibt an, welches (von außen wirkende) Drehmoment der stehende Motor halten kann, ohne seine Position zu verändern. Das Antriebsmoment des Motors ist meistens kleiner. *Ohne Datenblatt mit Kennlinie(n) kann man einen Schrittmotor eigentlich überhaupt nicht einschätzen. Da hilft dann nur eins: Ausprobieren!*

### Warum verliert der SM bei hohen Drehzahlen Schritte?

Bei hohen Drehzahlen wirkt die Induktivität der Motorwicklung dem Anstieg des Stromes (jeweils nach dem Umpolen der Wicklung) entgegen. Der Strom erreicht so nicht mehr seinen Sollwert, bevor die Wicklung schon wieder umgepolst wird. Dadurch sinkt das Drehmoment, was irgendwann dazu führt, daß der Motor seine Last nicht mehr antreiben kann. Abhilfe schafft eine höhere Versorgungsspannung, wenn die Steuerelektronik das zuläßt. Auch ein Motor mit gleichem Drehmoment und gleicher Leistungsaufnahme, aber höherem Nennstrom wird bei hohen Drehzahlen mehr Drehmoment bringen.

### Warum soll ich die SM-Karte mit 24Volt oder mehr betreiben, wenn auf dem Motor 5,1 Volt steht? Wird der nicht überlastet?

Zumindest bei den hier vorgestellten Schaltungen, aber auch bei den meisten anderen Schaltungen mit 1 Ampere oder mehr Wicklungsstrom, handelt es sich um stromgeregelte Schaltungen. Dabei sorgt der Stromregler dafür, daß der Motor nur soviel Strom 'bekommt', wie eingestellt wurde (in der Regel also der Nennstrom des Motors). Dies wird durch häufiges Ein- und Ausschalten der Motorwicklung erreicht. Der Stromregler arbeitet also wie ein (Abwärts)-Schaltregler. Am Motor stellt sich (nach dem Ohm'schen Gesetz) quasi automatisch die Nennspannung des Motors ein.

### Wie stark muss das Netzteil sein? Brauche ich für 3 Motoren mit je 2x2 Ampere ein 12 Ampere Netzteil?

Nein. Man kann nicht einfach die Ströme der Motoren zusammenrechnen, um die Strombelastung des Netzteils zu ermitteln. Schließlich sind die Spannung am Netzteil und am Motor auch grundverschieden! Stattdessen muss man mit Leistungen rechnen. Dabei dürfen aber die Verluste in der Endstufe nicht vergessen werden! Beispiel: 3 Motoren mit je 5V/2A, Span-

nungsversorgung mit 32V= (aus 24V-Trafo). Die Motoren benötigen also  $5V \cdot 2A \cdot 2(\text{Wicklungen}) = 20VA$ . Alle 3 also 60VA. Bei Endstufen mit L298-IC's, die im Stillstand den Strom reduzieren, kann man ca. 50-60% der Leistungsaufnahme der Motoren für die Karte ansetzen, also nochmal 30VA. Mit einem 100VA-Trafo (also ca. 4 Ampere bei 24V) sollte man auskommen. Bei anderen Endstufen muß man in die Datenblätter sehen oder besser Messungen machen, schließlich fallen nicht nur in den IC's, sondern auch in den Meßwiderständen usw. Verluste an.

## Ist es normal, daß der Motor so heiß wird?

Ja ein. Schrittmotore nehmen auch im Stillstand ihren Nennstrom auf, wenn dies nicht durch die Ansteuerelektronik verhindert wird. Da die Energie nicht in Bewegung umgesetzt wird, muß sich der Motor zwangsläufig erwärmen. Je nach Auslegung des Motors darf die Wicklung um die 100°C wärmer werden als die Umgebung.

Um eine unnötige Erwärmung des Motors (und damit auch unnötige elektrische Verluste) zu vermeiden, unterstützen viele Endstufen die Möglichkeit, den Motorstrom abzusenken, wenn der Motor sich nicht dreht.

## Wie schließe ich einen Motor mit x Anschlüssen richtig an?

Bei 4 Anschlüssen ist das ja klar. Welche Enden zu einer Wicklung gehören, kann man leicht mit einem Multimeter rausfinden. Bei Motoren mit 6 Anschlüssen handelt es sich in der Regel um einen unipolaren Motor - es kann natürlich auch ein 3-phasen Schrittmotor sein. Auch das läßt sich leicht ausmessen. Ein unipolarer Motor hat zwei mittlere Wicklungsabgriffe, bei denen jeweils zu den beiden Enden der Wicklungswiderstand meßbar ist. Beim 3-phasen Motor gibt es 3 Wicklungen mit jeweils 2 Enden (also ohne Mittelabgriffe). Gelegentlich werden diese Motoren auch fest in Stern oder Dreieck geschaltet, dann haben sie nur 3 Anschlüsse, aber das ist hier nicht so wichtig. Im Gegensatz zu unipolaren Endstufen, die man nur noch bei sehr kleinen Motoren benutzt, sind unipolare Motoren noch sehr verbreitet. Das liegt einfach daran, dass man sie an beiden Endstufenarten betreiben kann und sie damit relativ flexibel einsetzbar sind. Beim Anschluß an eine bipolare Endstufe werden einfach die Mittelabgriffe frei gelassen und die 4 Enden an die Endstufe angeschlossen. **Die Mittelabgriffe müssen unbedingt isoliert werden, um Kurzschlüsse zu vermeiden!**

Noch universeller lassen sich bipolare Motoren mit 8 Anschlüssen verwenden. Hier hat man die Wahl zwischen Parallel- oder Reihenschaltung der beiden Wicklungspaare. Da sich die Daten des Motors in der Regel auf eine Wicklung beziehen, erhält man bei der Nutzung beider Teilwicklungen ein um den Faktor  $\sqrt{2}$  höheres Drehmoment. Um den Motor nicht zu überhitzen, müssen die Ströme entsprechend angepasst werden. Bei der Reihenschaltung muß der Strom um den Faktor  $\sqrt{2}$  kleiner sein, bei Parallelschaltung darf er um den selben Faktor größer werden - nicht etwa doppelt so groß! Da bei der Parallelschaltung auch die Wicklungsinduktivität kleiner wird, erhöht sich auch die Nenndrehzahl etwa um den Faktor  $\sqrt{2}$ . Allerdings stellt der so sehr kleine Wicklungswiderstand erhebliche Ansprüche an die Endstufe, so dass diese Variante nicht immer angewendet werden kann. Abgesehen davon benötigt man auch eine Endstufe, die den entsprechenden Strom zur Verfügung stellen kann.

## Nachdem ich den Motor zerlegt habe, hat er weniger Drehmoment. Woher kommt das?

Beim Zerlegen wird die Magnetisierung des Rotors beeinträchtigt, weil der magnetische Fluß gestört wird. **Daher sollte man niemals einen Schrittmotor zerlegen**, weil er sonst deutlich an Drehmoment verliert!

Der IC L297 / L298 kann auf Grund des Alters für neue Projekte nicht mehr empfohlen werden. Es gibt zahlreiche neue ICs mit teilweise sehr guten Leistungen, z.B.:

- TMC 2208
- A 4988
- TB 6612
- TB 6560
- und andere ...

[http://www.ostermann-net.de/electronic/i\\_schritt.htm](http://www.ostermann-net.de/electronic/i_schritt.htm)

[www.rn-wissen.de](http://www.rn-wissen.de)

[www.wolfgang-back.com](http://www.wolfgang-back.com)

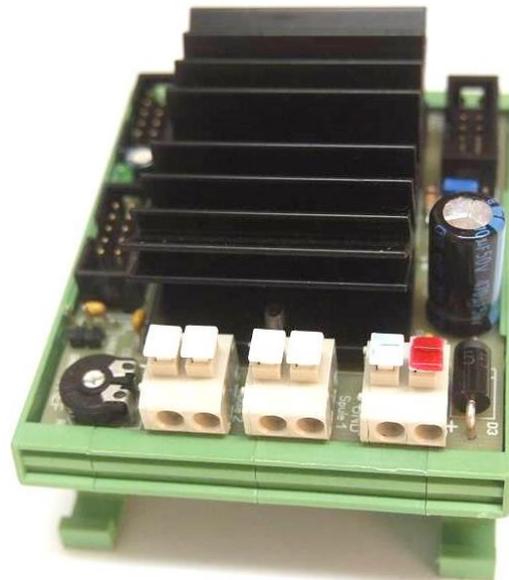
[www.roboternetz.de](http://www.roboternetz.de)

Teile oder Abschnitte wurden den angegebenen Seiten entnommen.

Möchte mich an dieser Stelle für die vielen Beiträge und Hilfe im Netz bedanken.

Im nächsten Teil werde ich eine Schrittmotor Steuerung mit dem L6208N mit der Hardware und Software beschreiben

**Modul mit dem L6208N  
(IC unter dem Kühlkörper)**



Einige Teile des Textes wurden zur besseren Übersicht farblich gestaltet.

Die Nutzung erfolgt auf eigenes Risiko.

Ich wünsche viel Spaß beim Bauen und programmieren

Achim

[myroboter@web.de](mailto:myroboter@web.de)